

СЕЛЕКТИВНІ ПОКРИТТЯ

Ярослав В'ячеславович Ігнатенко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2506-7055>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олег Леонідович Марченко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5112-1396>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Робота присвячена короткому огляду наявних пропозицій щодо перетворення сонячної енергії на теплову та електричну, а також фізичних принципів, на яких ґрунтуються ці пропозиції. Основна увага приділяється можливості реалізації високотемпературного нагріву за допомогою методів, придатних для створення потужних теплових установок.

МЕТА І ЗАДАЧІ

Температура нагрівання сонячним випромінюванням обмежується двома процесами – тепловим випромінюванням тіла, що нагрівається, і тепловіддачею в навколишнє середовище. В умовах рівноваги:

$$S \cdot \alpha \cdot P_c = S'(\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 + h \cdot \Delta T), \quad (1)$$

де S - освітлювана поверхня, α - поглинальна здатність тіла, P_c - потік сонячного випромінювання, S' - повна поверхня тіла, ε - випромінювальна здатність тіла, σ - постійна Стефана-Больцмана, T - температура тіла, h - коефіцієнт тепловіддачі, ΔT - різниця температур тіла та навколишнього середовища.

Якщо тимчасово не враховувати втрати енергії за рахунок тепловіддачі в навколишнє середовище (другий член у рівнянні (1)) то можна оцінити граничну температуру тіла що нагрівається виключно випромінюванням. Для цього перетворимо (1) до вигляду:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_c}{\sigma} \cdot \frac{S}{S'} \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon}} \quad (2)$$

Якщо потік випромінювання прийняти $P_c = 10^3 \text{ Вт/м}^2$, що

відповідає ясному сонячному дню, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ а площі освітлюваної та повної поверхні рівними то отримаємо:

$$T = 365 \cdot \sqrt[4]{\frac{\alpha}{\varepsilon}} \text{ (}^\circ\text{K)} \quad (3)$$

З (3) видно, що навіть при нагріванні чорного тіла $\alpha = \varepsilon = 1$ його температура не досягне навіть температури кипіння води при нормальних умовах, тобто $373 \text{ }^\circ\text{K}$ (100°C). А з урахуванням тепловтрат у навколишнє середовище за рахунок конвекції буде ще нижче.

Подальше збільшення температури теплоносія можливе або за рахунок підвищення потоку сонячного випромінювання P_c , або за рахунок відношення поглинаючої до випромінювальної здатності тіла α/ε . Підвищити потік сонячного випромінювання можна застосуванням концентраторів але це значно ускладнить конструкцію геліосистеми. Другим способом збільшення температури об'єкта, що нагрівається випромінюванням, є фактор α/ε .

Слід враховувати, що в даному випадку поглинальна і випромінювальна здатність відносяться до різних областей спектра. Так основна частина потоку сонячного випромінювання лежить у видимій частині спектра з довжинами хвиль $\lambda = 0,35 \div 1,2 \text{ мкм}$, а випромінювання об'єкта, що нагрівається, лежить в інфрачервоній області з $\lambda \geq 2 \text{ мкм}$. Тому оптимальні умови нагріву будуть за умови поглинання енергії у видимій частині спектру та великим коефіцієнтом відбивання в інфрачервоному діапазоні. Матеріали, що мають такі властивості, називаються селективними від лат. *selectio* - відбір і являють, по суті «теплову пастку», що працює на принципі парникового ефекту.

Для зменшення теплових втрат за рахунок конвекції тіло, що нагрівається, розміщується в корпусі з матеріалу, прозорого в видимій області спектру (скло або спеціальні плівки). Така оболонка пропускає сонячне випромінювання і разом з тим частково послаблює конвективний теплообмін з повітрям. Можна використовувати не один, а кілька шарів захисту. У таких пристроях вдається дещо підвищити ефективність нагріву. Однак підвищення температури без застосування концентраторів невелике.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інший підхід заснований на застосуванні селективних покриттів, що забезпечують ефективне поглинання сонячного випромінювання і водночас невеликі значення випромінювальної здатності в

інфрачервоній області спектра. Існує декілька різних методів отримання необхідної селективності.

По-перше, є ряд матеріалів, що добре поглинають або пропускають сонячне випромінювання і мають великий коефіцієнт відбиття r в інфрачервоній області. Відповідно до закону Кірхгофа випромінювальна здатність таких матеріалів мала, $\varepsilon = 1 - r$. Наприклад, карбід гафнію HfC в області 4 - 10 мкм має коефіцієнт відбиття $r = 0,8 - 0,9$ а у видимій області $r \approx 0,25$. Відбиття у видимій області може бути зменшено, якщо на поверхню HfC нанести шар прозорого діелектрика. За допомогою таких матеріалів можна отримати значення $\alpha/\varepsilon = 4 - 5$.

Для підвищення селективності можна використовувати складніші багатошарові покриття, наприклад тришарові - діелектрик, напівпровідник, метал. Поглинання відбувається у шарі металу а перші два шари є прозорими для сонячного випромінювання, їхнє призначення - послабити теплове випромінювання за рахунок великого коефіцієнта відбиття напівпровідника в інфрачервоній області.

Нарешті, можуть застосовуватися багатошарові інтерференційні покриття, аналогічні тим, що використовуються для просвітлення оптики.

При використанні селективних покриттів з малим значенням ε істотно зростає відносна роль теплообміну з навколишнім середовищем. Граничні температури нагріву, які допускаються втратами на теплове випромінювання, можуть бути реалізовані лише за умови, що теплові втрати менше втрат на випромінювання. Теплові втрати можна знизити до необхідного рівня, уклавши тіло, що нагрівається, в прозору вакуумну оболонку.

У лабораторних дослідженнях за рахунок складних багатошарових покриттів вдалося довести відношення α/ε приблизно до $7 \div 10$.

Використовуючи одночасно концентрацію сонячної енергії та селективні покриття, можливо, в принципі, отримати температуру нагріву достатню для роботи низки енергетичних пристроїв. Так, при $\alpha/\varepsilon = 8$ і $\xi = 4$ (нерухомий концентратор) $T = 650$ °К. При $\alpha/\varepsilon = 8$ і $\xi = 13$ (концентратор із сезонним регулюванням) $T = 870$ °К.

Для застосування в низькотемпературних сонячних колекторах (при температурах 150 - 300°C) найбільш перспективними покриттями, що поглинають, є покриття з чорного нікелю, у складі якого нікель - сульфід цинку і з чорного хрому, що являє собою суміш хрому і оксидів хрому. В даний час найвищі значення α і ε покриттів із чорного нікелю, нанесених на нікелеві підкладки, становлять 0,95 та 0,07 відповідно. Ці покриття стабільні до температури 300°C у вакуумі. Вони також стійкі до дії ультрафіолетового випромінювання у

вакуумі, але нестійкі при опроміненні на повітрі. Однак ці покриття псуються при спільній дії високої температури та вологості. Покриття з чорного хрому мають гарні оптичні властивості ($\alpha = 0,95$ і $\varepsilon = 0,09$) та є досить міцними. А покриття, нанесене на підшар нікелю завтовшки 12,7 мкм, має тривалий термін служби.

ВИСНОВКИ

На сьогодні відомо досить багато матеріалів, що мають вибіркову поведінку по відношенню до сонячного випромінювання. Використовуючи комбінації таких матеріалів і способи їх нанесення можна значно підвищити ККД геліосистем [2]. Так, наприклад, два шари покриття «Чорний нікель» поверх гальванопокриття з нікелю на м'якій сталі показали здатність поглинання, рівну 0,94, при цьому здатність випромінювання складала всього 0,07, що теоретично дозволяє підвищити температуру об'єкта, що нагрівається, майже в два рази. Слід зазначити, що застосовувані нині селективні покриття, як правило, недостатньо термостійкі.

При сучасних технологіях отримання селективних покриттів їхня вартість не висока і не призводить до помітного подорожчання геліосистеми в цілому та витрат на додаткове обладнання.

ПОСИЛАННЯ

1. Формування схемних рішень системи кліматизації споруд в робочому середовищі альтернативних джерел енергії : монографія / В. О. Габрінець та ін. Дніпро : Ліра ЛТД, 2016. 146 с. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/9325>.

2. Гурін В. М., Яшков І. О., Гурін Д. В. Розробка ефективного селективного покриття та конструкції сонячного теплового колектора з рекомендаціями щодо його використання. *Автоматизовані системи управління та пристрої автоматики*. 2012. Т. 158. С. 68–72.